

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20405029

研究課題名(和文) 東南アジアにおける大規模山体崩壊後の河川地形の経年変化に関する研究

研究課題名(英文) Study on the yearly variation of river geomorphology after sediment runoff due to large sediment yield in South-east Asia

研究代表者

笹原 克夫 (SASAHARA KATSUO)

高知大学・教育研究部自然科学系・教授

研究者番号：90391622

研究成果の概要(和文)：2004年3月26日にインドネシア共和国南スラウェシ州ジェネベラン川源流部のバワカラエン山で巨大崩壊が発生し、ジェネベラン川源流部に堆積した。本研究では衛星画像と現地調査により堆積土砂の地形変化を追跡し、流出土砂量の経年変化と侵食ガリーの発達状況を把握した。また流出土砂の放射性同位体分析により土砂の流出源を探り、洪水時の土砂と平常時の土砂は異なる土層から流出したことを把握した。

研究成果の概要(英文)：Gigantic landslide occurred at March 26, 2004, at the caldera of Mt Bawakaraeng, South Sulawesi Province, Republic of Indonesia, and landslide mass deposited at the upstream of Jeneberang River. In this research, 2 main results were derived. The first is time variation of geomorphology of eroded gully and sediment discharge according to satellite image analysis and field survey. The second is that sediment at flood comes from deeper soil layer than that at usual time according to their analysis of fallout radionuclides.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2009年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2010年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
年度			
年度			
総計	12,500,000	3,750,000	16,250,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：土砂災害, 森林工学, 土砂流出, 河床変動, インドネシア

## 1. 研究開始当初の背景

火山噴火や大規模山体崩壊などの大規模な土砂生産が山地で発生した後は、膨大な量の土砂が河川下流へ流出し、土砂災害を引き起こすなど、河川周辺環境に大きな影響を及ぼす。このため、大規模土砂生産後の下流への土砂流出予測手法の確立が必要である。しかしこのような大規模土砂生産は希にしか発生せず、データの蓄積が少ない。このため2004年3月26日にインドネシア共和国南スラウェシ州のジェネベラン川上流のバワカ

レエン山で総量2億5千万 $m^3$ の巨大山体崩壊が発生した。

## 2. 研究の目的

一つ目は崩壊土砂の侵食状況を分析して下流への流出土砂量の経年変化を把握し、かつ土砂流出が低減するための地形要因を検討する。二つ目は下流への流出土砂源を押さえ、出水規模に対応した2次流出のメカニズムを検討する。

### 3. 研究の方法

一つ目の目的のために衛星画像解析と、浸食ガリーの現地計測を行った。2004年以降毎年当該地域の衛星画像を撮影し、DEMデータを作成する。そして前年度と当該年度のDEMデータを比較して、同一地点の標高差を算出し、当該地域からの土砂の侵食・堆積状況を把握する。また堆積土砂の侵食ガリーの現地計測を毎年実施し、それらを比較することによって、経年的なガリーの地形変化を把握する。

二つ目の目的のために、まず非固定型浮遊砂サンプラー(図-1)を用いて、以下の手順によって浮遊砂を含む懸濁水の採水を行った。採取器に設置されているフックに取り付け、橋上などからサンプラーを河川へ投下し、観測者がロープを上流端の呑口部を水の流れに平行となるように修正する。採取器が水没した後、一定時間経過後、サンプラーを引き上げる。サンプラーから、準備しておいたポリタンクに採取器内の試料を移す。BiliBili ダム下流域およびジェネベラン川中流域に位置する Daraha 橋(サスペンションブリッジ)において、2005年12月から2008年3月までにそれぞれ3回ずつの採取を行った。採取した懸濁水は実験室に持ち帰り吸引濾過し、湿潤重量を測定した後乾燥させ、乾燥重量を測定した。乾燥させた試料は再度105°で24時間乾燥させ、粉碎後、放射性同位体測定・粒度分析・有機物含量の測定に供した。

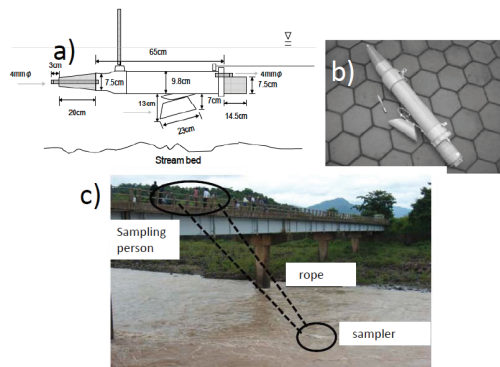


図-1 浮遊砂採取サンプラー

### 4. 研究成果

#### (1) 堆積土砂の侵食と土砂流出の経年変化

2004年11月以降毎年衛星画像の撮影を行い、DEMデータを作成した。図-2は2004-2005年、2005-2006年の、そして図-3は2006-2007年、2007-2008年のDEMによる堆積土砂の標高変化である。赤色が標高の低下、つまり侵食を表し、青色が標高の増加、つまり堆積を表す。これらの図を見ると、2004-2005年度は主要河道沿いのガリー侵食が顕著であるが、2005-2006年以降はガリー沿いの侵食が

非常に小さくなるのがわかる。

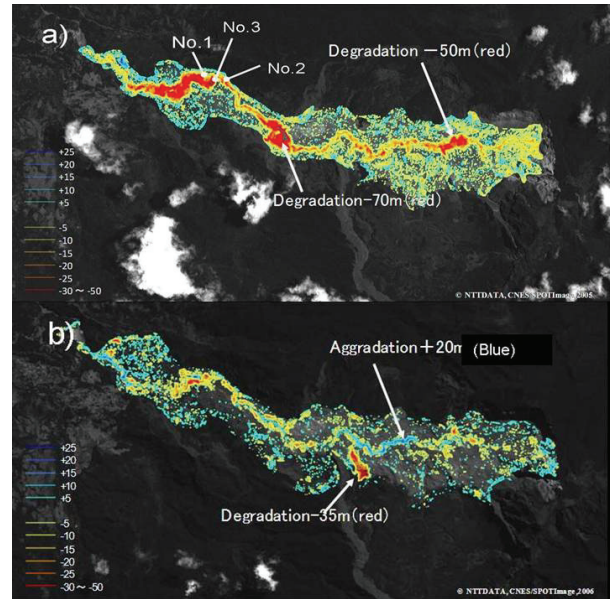


図-2 2004-2005年、2005-2006年の堆積土砂の侵食・堆積状況

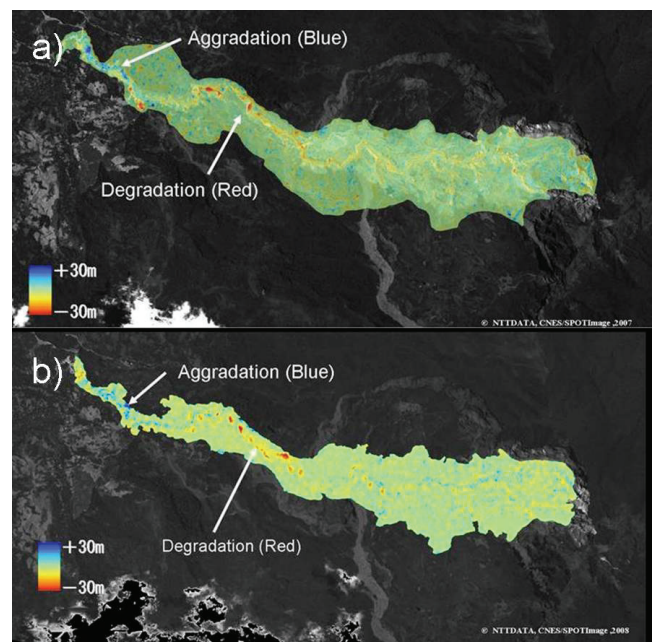


図-3 2006-2007年、2007-2008年の堆積土砂の侵食・堆積状況

次にDEMによる当該年度と前年度の堆積土砂の標高変化より、堆積土砂の侵食・堆積土砂量を算出した。その結果を図-4に示す。侵食と堆積の合算である純侵食土砂量は、山体崩壊発生後の2004-2005年には3,500万 $m^3$ と大きいですが、2年目の2005-2006年には830万 $m^3$ と激減した。その後2006-2007年以降は

300~400 万 m<sup>3</sup> とほぼ同様な値となった。つまり大規模土砂生産直後は流出土砂量が非常に多いが、2 年目を以降激減するという、他の大規模土砂生産事例と同様な傾向となった。

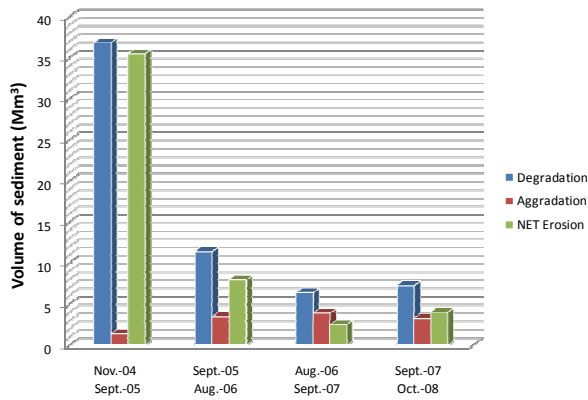


図-4 侵食・堆積土砂量の経年変化

次に大規模土砂生産により生じた、ジェネベラン川上流部の堆積土砂の侵食ガリーの断面形状の経年変化を見る。侵食ガリーとは図-2,3 において、侵食が連続する、現河道である。まず図-5 にガリーの深さの経年変化を見る。図中の No.1,2,3 は侵食ガリーの断面位置である。これを見ると大規模土砂生産直後はガリーの深さが急増し、2 年後の 2006 年に最深となる。その後は No.1 および No.3 で深さが浅くなっている。次に図-6 の側岩勾配を見ると、No.2 を除いてほぼ一定と考える。現地計測における目標点の選定の不確かさなどを考えると計測誤差は大きいと言えるからである。No.2 は毎年の計測時の目標点が定まっていなかったと考えられる。最後に図-7 に断面 No.3 におけるガリー幅を示す。図中の Lowest は河床面での川幅、Highest はガリー上端での幅である。Lowest を見ると、2005 年から 2007 年までは川幅が減少傾向で、2007 年に最小となり、その後川幅は増加している

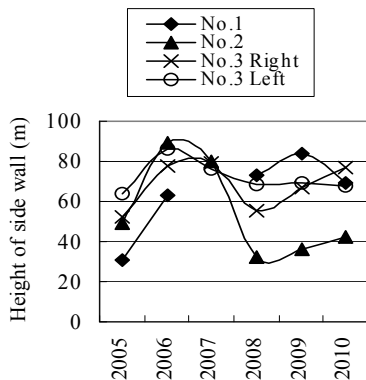


図-5 ガリー深さの経年変化

ことがわかる。Highest を見ると、計測誤差が大きく、明瞭な傾向は把握できないと考える。

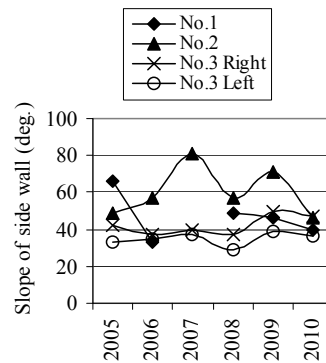


図-6 ガリーの側岸勾配の経年変化

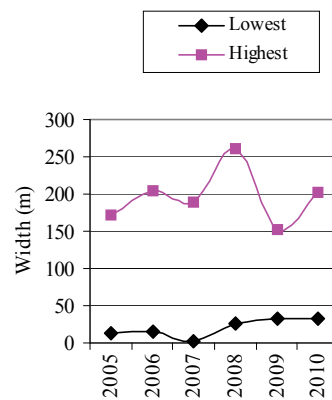


図-7 ガリー幅の経年変化

ここで図-5 におけるガリー深さが 2007 年以降浅くなること、そして図-7 におけるガリー幅（河床部）が 2007 年以降増加することについて考察すると、これは上流から流下してきた土砂がこの断面位置に堆積したためと考えられる。つまりガリーは侵食一方ではなく、堆積も発生するということである。

## (2) 流下土砂の流出源の検討

表-1 に Daraha 橋地点と Bili Bili 地点での、取水毎の放射性同位体元素の分析結果を示す。

図-8 のプロットは Daraha 橋地点と Bili Bili 地点に集まった Pb-210<sub>ex</sub> との関係性を示している。サンプルの数量が非常に限られているものの、Daraha 橋の浮遊砂の Pb-210<sub>ex</sub> の値はその濁りの濃度と共に減少する傾向にある。これらのデータからみて懸濁の濃度が低い時は土壌の表層からの土砂であり、濃度が高い時はガリーからの流出土砂が優位になっているといえる。Bili Bili 地点においては、今までのところ何の関係性も成り立たなかった。採取したサンプルが異なれば、違う結果



が得られるかもしれないが、Bili Bili ダムの研究においては更なるデータの取得が必要となる。

Sample Code	Organic matter contents %	Specific surface area m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	P	Cs-137 Bq kg <sup>-1</sup>	Pb-210ex Bq kg <sup>-1</sup>	Corrected Pb-210ex Bq kg <sup>-1</sup>	Sampling date	
								No data
BiliBili	BiliBili 1	9.3	0.73	1.44	0	78	124.6	2007.2.22
	BiliBili 2	10.5	0.96	1.78	2.79	73	144.3	2007.3.28
	BiliBili 3	11.1	0.76	1.48	0	86	143.9	2008.3.1
	SS3	1.1	1.00	1.83	0	7	13.4	2009.1.23
	SS5	4.2	1.58	2.60	0	14	36.8	2008.12.23
Daraha	Daraha 1	No data	0.76	1.49	No data	7	No data	2005.12.26
	Daraha 2	3.4	0.65	1.32	0.42	44	60.2	2008.1.25
	Daraha 3	3.9	0.62	1.27	0	32	42.1	2008.3.1
	SS1	1.2	0.85	1.61	0	7	11.5	2009.1.23
	SS4	3.9	1.32	2.27	0	16	38.1	2008.12.23

表-1 浮遊砂サンプル分析結果

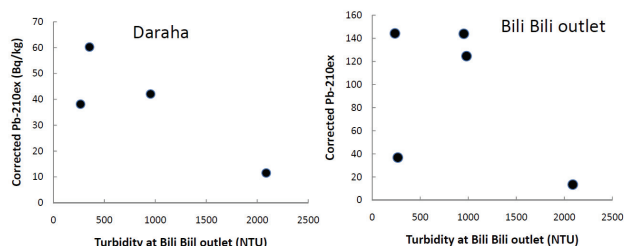


図-8 濁度と Pb-210<sub>ex</sub> 値の関係

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 11 件)

- ① 水野正樹・林 真一郎・清水孝一・小山内信智：衛星リモートセンシング技術の土砂災害への応用，土木技術資料，査読有，Vol. 53, No.1, pp.16-19, 2011.
- ② Parsons, A. J., Wainwright, J., Furukawa, T., Onda, Y. (2010) Using sediment travel distance to estimate medium-term erosion rates: a 16-year record. *Earth Surface Processes and Landforms*, 査読有，Vol. 35, 1694-1700 DOI: 10.1002/esp.2011.
- ③ Wakiyama, Y., Onda, Y., Mizugaki, S., Asai, H., Hiramatsu, S. : Soil erosion rates on forested mountain hillslopes estimated using <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pb<sub>ex</sub>. *Geoderma*, 査読有，Vol. 159, pp. 39-52, 2010. 06. 012
- ④ Onda, Y., Wakiyama, Y., Furukawa, T., Matsunaga, S., Watanabe, T. : Fingerprinting the sediment sources of fine sediment to Bili Bili reservoir using fallout radionuclides, Proc. of International Workshop on Multimodal Sediment Disasters Triggered by Heavy Rainfall and Earthquake and the Countermeasures, Yogyakarta, INDONESIA, March 8-9, 2009, 査読有，pp.187-195, 2010.
- ⑤ Fukuyama, T., Onda, Y., Gomi, T., Yamamoto, K., Kondo, N., Miyata, S., Kosugi, K., Mizugaki, S., Tsubonuma, N. : Quantifying the impact of forest management practice on the runoff of the surface-derived suspended sediment using fallout radionuclides, *Hydrological Processes*, 査読有，Vol.24, No. 5, pp.596-607, 2010.
- ⑥ Katsuo Sasahara, Y. Shimizu, N. Osanai, T. Yamakoshi, K. Tamura, S. Doshida, K. Tsutsui: Time variation of sediment runoff from collapsed mass caused by large-scale landslide at Mt. Bawakaraeng, South Sulawesi, Indonesia, Proc. of International Workshop on Multimodal Sediment Disasters Triggered by Heavy Rainfall and Earthquake and the Countermeasures, Yogyakarta, INDONESIA, March 8-9, 2009, 査読有，pp. 45-54, 2010.
- ⑦ Kim, J. K., Yang, D. Y., Kim, M. S., Onda, Y. : Evaluation of interrill erosion under forest canopy, *Hydrological Research Letters*, 査読有，Vol.3, pp. 36-40, 2009.
- ⑧ 内田太郎・高橋史・恩田裕一・Sisingghi, D.・加藤弘亮・野呂智之・小山内信智：インドネシア，ブランタス川上流域における放射性同位体 Pb-210ex を用いた土壌侵食量と土砂供給源の推定，水文・水資源学会誌，査読有，Vol.22, No. 3, pp.188-197, 2009.
- ⑨ Satoshi Tsuchiya, K. Sasahara, S. Shuin and S. Ozono: The large-scale landslide on the flank of caldera in South Sulawesi, Indonesia, *Landslides*, 査読有，Vol. 6, No. 1, pp. 83-88, 2009.
- ⑩ 清水孝一・小山内信智・山越隆雄・笹原克夫・筒井健：衛星観測高精度 DEM によるインドネシア国バワカラエン山の大規模崩壊後の土砂流出の経年変化把握，日本地すべり学会誌，査読有，Vol. 45, No. 2, pp. 3-13, 2008.
- ⑪ Yamakoshi, T., Shimizu, Y., Osanai, N., Sasahara, K., Tsutsui, K. : Erosion processes of the collapsed mass of the gigantic landslide of Mt. Bawakaraeng, Sulawesi, Indonesia in 2004 revealed by multi-temporal satellite images, Proc. of The Fourth International Conference on Scour and Erosion 2008, 査読

有, pp.645-650, 2008.

[学会発表] (計4件)

- ① Onda, Y: Field and modeling studies on the effect of forest devastation on flooding and sediment yield, International Workshop on Application of isotope tracers to biogeochemical study of soil erosion and carbon export in mountain ecosystems, 8-10 April 2010, Korea
- ② 清水武志、山越隆雄、田村圭司、清水孝一、小山内信智、笹原克夫、土志田正二、筒井健、田方智、一言正之: 多時期衛星画像解析および数値計算による 2004 年スラウェシ島バワカラエン山で発生した巨大崩壊の土塊侵食過程, 砂防学会, 2010 年 5 月 26 日, 長野市若里市民文化ホール(長野県)
- ③ 土屋 智・清水武志: インドネシア・スラウェシ島で発生した大規模崩壊地源頭部のその後の動き, 2010 年 5 月 26 日, 長野市若里市民文化ホール(長野県)
- ④ Keiji Tamura: Erosion processes of the collapsed mass of the gigantic landslide of Mt. Bawakaraeng, Sulawesi, Indonesia in 2004 revealed by multi-temporal satellite images, European Geophysical Union General Assembly 2009, 2009年4月21日, ウィーン(オーストリア)  
国際会議場

[図書] (計1件)

- ① 恩田裕一: 「森林の水文地形学」, pp.27-38, 中村徹編『森林の科学への招待』, 筑波大学出版会, 2010.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

笹原 克夫 (SASAHARA KATSUO)  
高知大学・教育研究部自然科学系・教授  
研究者番号: 90391622

### (2) 研究分担者

田村 圭司 (TAMURA KEIJI)  
独立行政法人土木研究所つくば中央研究所・土砂管理研究グループ・上席研究員  
研究者番号: 80462571  
恩田 裕一 (YUUCHI ONDA)  
筑波大学大学院・生命環境科学研究科・教授  
研究者番号: 00221862  
土屋 智 (TSUCHIYA SATOSHI)  
静岡大学・農学部・教授  
研究者番号: 60197720  
小山内 信智 (OSANAI NOBUTOMO)  
国土交通省国土技術政策総合研究所・危機

管理技術研究センター砂防研究室・室長  
研究者番号: 30355862

石塚 忠範 (ISHIZUKA TADANORI)  
独立行政法人土木研究所つくば中央研究所・土砂管理研究グループ・上席研究員  
研究者番号: 70596444